

电梯故障诊断与预防性维护技术探析

王益涵

河南省特种设备检验技术研究院南阳分院 河南 南阳 473000

摘要：电梯安全运行依赖故障诊断与预防性维护技术。本文深入探析电梯机械系统，涵盖曳引、导向、门、轿厢等子系统故障诊断方法；剖析电气系统，包括电力拖动、控制、信号传输及电源系统诊断技术。构建预防性维护体系，涉及日常维护、定期检查、状态监测及维护周期优化。探讨故障诊断与维护技术融合，涵盖数据采集集成、智能诊断系统开发、维护决策支持系统构建及实施路径。为电梯安全运行与维护提供全面技术参考。

关键词：电梯故障诊断；预防性维护；机械系统；电气系统；技术融合

引言：电梯作为现代建筑中不可或缺的垂直交通工具，其运行的安全性与可靠性直接关系到人们的生命财产安全。随着电梯保有量的持续增长，电梯故障引发的安全问题日益受到关注。传统的故障诊断与维护方式多依赖人工经验，存在效率低、准确性差等问题。在此背景下，深入探析电梯故障诊断与预防性维护技术，构建科学、高效的技术体系，对于提升电梯运行安全性、降低故障发生率具有重要意义。

1 电梯机械系统故障诊断技术

1.1 曳引系统故障诊断

曳引轮磨损检测技术通过高精度位移传感设备捕捉轮槽表面轮廓变化，结合表面粗糙度测量技术量化磨损程度，依托机械磨损理论判断磨损是否超出安全阈值，为曳引轮维护提供数据支撑^[1]。钢丝绳状态评估方法以金属疲劳检测技术为核心，通过磁粉探伤捕捉钢丝绳内部断丝、锈蚀等隐患，搭配张力检测技术分析绳体受力均匀性，规避因局部受力失衡加剧磨损。制动器性能监测手段聚焦制动间隙与制动力矩检测，借助压力传感与位移监测技术，实时捕捉制动过程中的参数变化，判断制动组件运行状态，防范制动失效引发的安全风险。

1.2 导向系统故障诊断

导轨垂直度检测技术采用激光准直测量技术，精准捕捉导轨纵向与横向的偏移量，结合几何精度检测理论，判断导轨安装精度与磨损后的偏差程度，保障轿厢运行导向稳定性。导轨磨损监测方法通过接触式位移传感器，实时采集导轨与导轨的接触间隙变化，结合摩擦学原理分析磨损速率，及时发现导轨过度磨损引发的运行隐患。轿厢水平振动分析依托振动传感技术采集运行过程中的振动信号，通过信号滤波与特征提取，识别振动异常来源，排查导向系统组件配合不当引发的振动问题。

1.3 门系统故障诊断

门机驱动装置检测聚焦电机转速、扭矩等核心参数，通过电机运行状态监测技术，捕捉驱动装置的电流与电压变化，判断电机、减速器等组件的运行状态，排查驱动异常引发的门系统故障。门锁安全回路诊断采用回路通断检测技术，结合电气回路检测理论，排查回路线路接触不良、元件老化等问题，保障门锁回路的安全可靠运行。门运动轨迹分析通过视觉传感与位移监测技术，捕捉门体开关过程中的轨迹偏差，分析导轨、滑块等组件的运行状态，纠正轨迹偏移引发的开关不畅问题。

1.4 轿厢系统故障诊断

轿厢结构强度检测采用应力应变检测技术，通过粘贴应变片捕捉轿厢承载过程中的应力分布变化，结合材料力学理论判断结构强度是否满足安全要求，防范结构疲劳引发的安全隐患。平衡系数评估方法通过负载测试与重量分配分析，结合电梯动力学原理，量化轿厢与对重的平衡状态，调整负载分配以保障运行平稳性。悬挂装置状态监测依托张力传感与振动检测技术，实时捕捉悬挂组件的受力变化与振动异常，排查组件磨损、锈蚀等隐患，保障轿厢悬挂系统的安全运行。

2 电梯电气系统故障诊断技术

2.1 电力拖动系统诊断

电机状态监测技术依托电气参数检测与振动分析技术，采集电机运行过程中的定子电流、转子转速及外壳温度等参数，结合电机学理论分析参数波动规律，识别绕组绝缘老化、轴承磨损等潜在隐患^[2]。变频器故障检测方法聚焦输出电压、电流的波形畸变检测，通过谐波分析技术捕捉频率偏差与电压波动，排查功率模块损坏、滤波电容衰减等问题，保障变频驱动系统稳定运行。制动电阻评估手段通过电阻值测量与温度监测，结合电路热效应理论量化电阻损耗程度，判断电阻是否存在过热、阻值异常等问题，规避制动过程中能量释放不畅引

发的系统故障。

2.2 电气控制系统诊断

PLC控制模块检测采用端口信号检测与程序逻辑校验技术,采集输入输出端口的信号状态,排查模块接口松动、程序指令错误等问题,保障控制逻辑的精准性。继电器接触器诊断通过线圈电压检测与触点接触电阻测量,分析电磁线圈吸合状态与触点磨损情况,结合电气控制理论判断组件是否存在卡滞、接触不良等隐患。安全回路完整性检查依托回路阻抗测量与通断测试技术,逐段排查回路元件、线路的运行状态,排查元件老化、线路破损等问题,保障安全回路的可靠导通。

2.3 信号传输系统诊断

通信线路检测技术采用时域反射法与阻抗测量技术,检测线路传输衰减、干扰信号等参数,排查线路破损、接触不良等问题,保障信号传输的稳定性。编码器信号分析聚焦脉冲信号的频率、相位检测,通过信号滤波与特征提取技术,识别信号丢失、干扰等异常,排查编码器安装偏差、内部元件损坏等隐患,确保电梯运行位置与速度信号精准传输。召唤按钮状态监测通过按钮触点电阻测量与信号反馈检测,判断按钮是否存在卡滞、接触不良等问题,及时反馈按钮操作状态,保障召唤指令精准传递。

2.4 电源系统诊断

供电质量监测方法通过电压、电流有效值测量与谐波分析,检测供电系统的电压波动、频率偏差及谐波含量,结合电力系统理论判断供电质量是否满足电梯运行要求。应急电源切换检测聚焦切换时间与输出电压稳定性检测,模拟市电中断场景,监测应急电源的启动响应速度与输出参数,排查切换装置故障、电池容量衰减等问题。接地系统完整性检查通过接地电阻测量与电位差检测,分析接地回路的导通状态,判断接地电阻是否超出安全标准,防范接地不良引发的电气干扰与安全隐患。

3 电梯预防性维护技术体系

3.1 日常维护技术规范

清洁保养操作要点围绕电梯各核心组件展开,针对轿厢内部、层门缝隙、地坎等易积尘部位,采用专用清洁工具与中性清洁剂,避免化学试剂腐蚀部件表面,清洁过程中注重保护电气接口与传感设备,防止水渍、灰尘侵入引发故障^[3]。润滑部位与周期确定依据电梯机械组件的摩擦特性与运行负荷,结合润滑工程理论,明确曳引轮、导轨、导靴等关键摩擦部位的润滑需求,根据组件运行时长与环境条件,设定科学合理的润滑周期,选用适配型号的润滑介质,保障组件运行顺畅。紧固件检

查标准聚焦电梯各连接部位的螺栓、螺母等部件,采用扭矩扳手检测紧固力矩,结合机械连接理论,判断紧固件是否存在松动、锈蚀等问题,及时进行紧固或更换,防范部件松动引发的运行隐患。

3.2 定期检查技术要求

机械部件磨损限度参照电梯制造标准与机械磨损理论,针对曳引轮、钢丝绳、导靴等易磨损部件,设定明确的磨损阈值,通过高精度测量工具量化磨损程度,超过阈值时及时开展维护更换,保障机械系统运行稳定性。电气元件性能参数检测聚焦继电器、接触器、控制模块等核心元件,通过专业检测设备采集电压、电流等运行参数,结合电气元件性能标准,分析参数偏差情况,排查元件老化、性能衰减等问题。安全装置有效性验证围绕限速器、安全钳、缓冲器等关键安全部件,通过专项检测手段检查部件动作灵活性与可靠性,确保安全装置在突发情况下能够正常启动,发挥安全防护作用。以钢丝绳为例,一般规定钢丝绳直径磨损量达到原直径的10%时,应报废更换;对于限速器,其动作速度应在电梯额定速度的115%~140%之间,定期检查时需验证其动作速度是否符合要求。

3.3 状态监测技术应用

振动监测技术实施依托振动传感器安装在电梯曳引机、导轨等关键部位,实时采集运行过程中的振动信号,结合信号处理技术对振动数据进行分析,识别振动异常特征,捕捉机械部件早期磨损隐患。温度监测点布置结合电梯电气与机械组件的发热特性,将温度传感器布置在电机、变频器、制动电阻等易发热部位,实时监测温度变化趋势,结合热传导理论,判断组件是否存在过热问题,及时排查故障诱因。当电机温度超过80℃时,需要进行降温处理或检查电机是否存在故障。油液分析方法选择针对电梯曳引系统、液压系统等需要润滑的部位,采集油液样本,通过油液光谱分析、铁谱分析等方法,检测油液中杂质含量、粘度变化等指标,判断油液劣化程度与机械部件磨损状态,为润滑维护提供依据。

3.4 维护周期优化策略

基于运行时间的维护以电梯实际运行时长为核心依据,结合组件疲劳寿命理论,针对不同类型组件设定差异化维护周期,运行时长达到设定阈值时,开展全面检查与维护作业,规避组件疲劳运行引发的故障。基于载荷的维护调整根据电梯实际运行载荷情况,分析载荷变化对各组件的影响,载荷长期处于高位时,适当缩短维护周期,加强对承重部件的检查与维护,保障组件承载能力。基于环境条件的维护结合电梯安装使用环境,

针对高温、潮湿、多尘等特殊环境,调整维护重点与周期,加强对电气元件的防潮、防尘保护,对机械部件增加润滑频次,适应环境条件对电梯运行的影响。

4 电梯故障诊断与维护技术融合

4.1 数据采集与集成技术

多源数据融合方法依托数据融合理论,整合电梯机械系统、电气系统运行过程中的振动、温度、电流等各类监测数据,通过数据清洗、特征提取与融合分析,消除单一数据源的局限性,提升数据完整性与准确性,为故障诊断与维护决策提供全面数据支撑^[4]。传感器网络构建原则遵循系统性与经济性相结合的思路,结合电梯组件分布特点,合理布置各类传感器,兼顾监测覆盖范围与数据采集精度,注重传感器兼容性与安装便捷性,确保数据采集的连续性与可靠性。数据传输协议选择结合电梯运行环境与数据传输需求,选用抗干扰能力强、传输效率高的工业级传输协议,规范数据传输格式与速率,保障采集数据在诊断系统与维护系统间高效传输,减少数据丢失与传输延迟。

4.2 智能诊断系统开发

诊断知识库构建整合电梯故障诊断领域的专业知识、维修经验与历史故障数据,采用知识表示方法对故障类型、诱因及诊断方法进行系统化梳理,建立结构化知识库,实现知识的高效存储与调用,为故障诊断提供知识支撑。推理机制设计基于人工智能技术,结合故障特征与知识库内容,构建高效推理逻辑,通过对监测数据与故障特征的匹配分析,精准识别故障类型与诱因,提升故障诊断的智能化水平与效率。人机交互界面开发遵循易用性与实用性原则,优化界面布局与操作逻辑,清晰呈现故障诊断结果、系统运行状态及维护提示,简化操作流程,便于维护人员快速掌握系统操作方法,提升工作效率。

4.3 维护决策支持系统

维护方案生成逻辑结合故障诊断结果、电梯运行状态及组件老化规律,依托决策理论与维护工程技术,构建科学的方案生成逻辑,根据不同故障类型与组件状态,自动生成针对性维护流程与操作规范,明确维护内容与技术要求。资源调度优化算法基于维护任务需求与资源配置情况,结合运筹学理论,优化人力、设备、耗

材等维护资源的分配方案,合理规划维护时间与流程,提升资源利用效率,降低维护成本。风险评估模型构建结合电梯运行环境、组件状态及维护情况,识别维护过程中的潜在风险,量化风险等级,结合风险管控理论,制定针对性防控措施,防范维护过程中各类安全风险与故障隐患。

4.4 技术融合实施路径

分阶段实施策略按照循序渐进的思路,结合电梯运行实际与技术应用条件,划分技术融合实施阶段,明确各阶段实施目标、核心任务与时间节点,先完成基础数据采集与系统搭建,再逐步推进智能诊断与维护决策功能的落地,确保技术融合平稳有序推进^[5]。技术集成难点突破聚焦数据兼容、系统协同等核心难点,依托信息技术与工程技术,优化系统接口设计,解决不同技术、不同系统间的兼容问题,强化系统协同运行能力,提升技术融合的稳定性和可靠性。人员培训体系建立结合技术融合需求,构建分层分类培训体系,针对维护人员开展智能诊断系统操作、维护决策应用等专项培训,提升人员专业技能与技术应用能力,保障技术融合成果有效落地。

结束语

电梯故障诊断与预防性维护技术的深入探析,为保障电梯安全运行提供了坚实的技术支撑。通过全面掌握机械与电气系统故障诊断方法,构建完善的预防性维护体系,并推动故障诊断与维护技术的深度融合,能够实现对电梯运行状态的实时监测与精准维护。这不仅有助于提升电梯的运行效率与安全性,还能有效降低维护成本,为电梯行业的可持续发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1]路剑峰.电梯驱动电机故障诊断与维修技术研究[J].机械管理开发,2025,40(8):120-122.
- [2]王毅.电梯故障预测与预防性维护策略研究[J].中国设备工程,2024(16):200-202.
- [3]陈必辉.探析电梯制动器故障树分析与可靠性提升策略[J].品牌与标准化,2026(1):253-255.
- [4]随龙飞.电梯故障诊断与预测技术研究[J].中国设备工程,2025(7):183-185.
- [5]李国栋.电梯故障诊断中的人工智能技术应用与实践[J].现代制造技术与装备,2026,62(3):194-196.